

文章编号: 1002-0268 (2009) 01-0016-05

# 路面预防性养护效益评估方法

苏卫国<sup>1</sup>, 赵慧芳<sup>2</sup>

(1. 华南理工大学 土木与交通学院, 广东 广州 510640; 2. 上海城建(集团)公司, 上海 200122)

**摘要:** 针对目前国内外尚没有成型的预防性养护成本效益评估的模式和方法的问题, 探讨了路面预防性养护的成本和效益构成及对比分析有关评价方法, 且在分析预防性养护对道路寿命周期成本影响的基础上, 提出了预防性养护财务分析法。通过比较预防性养护方案与零预防性养护方案诸多方面的差异, 考虑收费公路业主的过路费收入等, 提出采用净年值差这个经济指标评估预防性养护对道路寿命周期内成本效益的贡献值。案例及敏感性分析验证了该方法的可靠性及实用价值。

**关键词:** 道路工程; 效益评估方法; 案例分析; 路面预防性养护; 财务分析法; 贡献值; 寿命周期成本

中图分类号: U418.6

文献标识码: A

## Pavement Preventive Maintenance Benefits Evaluation

SU Weiguo<sup>1</sup>, ZHAO Huifang<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering & Transportation, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510640, China;  
2. Shanghai Urban Construction (Group) Corporation, Shanghai 200122, China)

**Abstract:** Up to now there is no a mature model and approach of evaluating the cost and benefit of pavement preventive maintenance (PPM) at home and abroad. The cost and benefit frame of PPM was discussed and contrasted and analysis of some evaluating methods were made. Based on analyzing how PPM influences the life-cycle cost of roads, an approach of PPM financial evaluation was demonstrated. Through comparing the differences between PPM and “do nothing” strategy and considering the toll earning in toll roads, net annual value difference was applied to evaluate the contribution value of PPM to road life-cycle cost and benefit. The case study proved the reliability and utility of this approach.

**Key words:** road engineering; benefit evaluation method; case study; pavement preventive maintenance; financial analysis; contribution value; life-cycle cost

## 0 引言

近年来, 国内外在路面预防性养护 (PPM-Pavement Preventive Maintenance) 措施的应用方面积累了一些实践经验, 人们也逐渐认识到路面预防性养护的重要性, 但对于 PPM 的核心要素-成本效益评估方面的研究尚显薄弱。目前国内外都没有成型的 PPM 成本效益评估模式和方法, 寿命周期成本分析 (LCCA-Life-Cycle Cost Analysis) 的概念是表述和体现预防性

养护成本效益的理论基础, 但实际应用及其评价方法尚有许多问题要解决。PPM 实施的核心思想在于它的成本效益, 如何真实体现它的效益备受业主关注, 也成为推进 PPM 的关键。有鉴于此, 本文在分析 PPM 对道路寿命周期成本 (LCC-Life-Cycle Cost) 的影响及成本和效益构成的基础上, 提出了 PPM 财务分析法, 体现了 PPM 在道路整个寿命周期内对业主成本效益的贡献, 并给出了案例分析。

收稿日期: 2007-10-28

基金项目: 广东省交通厅科技项目 (2003-13)

作者简介: 苏卫国 (1962-), 男, 山西介休人, 博士, 副教授, 研究方向为路基路面工程。(swg@sut.edu.cn)

# 1 PPM 成本及效益组成

## 1.1 道路 LCCA 介绍

道路 LCCA 是站在路面的整个寿命周期角度, 综合考虑备选方案在整个使用年限内 (从实施开始到最终丧失使用功能为止) 的所有成本, 对方案的成本效益及对道路的功能改善程度上来对方案进行优化分析, 选出能在使用年限内提供必需的性能且成本最低的方案<sup>[1]</sup>。道路 LCCA 强调把方案的寿命周期作为成本核算的期间, 其中考虑了资金的时间价值, 对于 PPM 这种需要提前投入成本而后期带来效益的投资是一种有效的评价工具。对道路 PPM 方案进行 LCCA, 必须明确道路 LCC 各项组成以及 PPM 成本及效益组成和对道路 LCC 的影响。

## 1.2 道路 LCC 组成

道路 LCC 就是道路从立项、设计、建设、投入使用、养护直到最后重建或报废的寿命周期内所发生的所有相关费用, 既包括道路设施的投资者和经营者投入的成本, 又包括道路使用者所投入的成本。

道路 LCC 组成见图 1, 其中道路设施的投资者和经营者 (业主) 对道路的直接投资称为业主成本, 这部分成本在道路寿命期内的不同时期具体表现不同, 主要有初期设计成本、建设成本、后期大中修成本、养护成本、改建成本、末期残值 (负的成本)。道路在使用期间或道路不能正常使用时给用户带来的成本称为用户成本, 主要包括车辆运营成本、行驶时间成本、交通延误成本、交通事故成本。车辆运营成本是用户成本中最大的组成部分, 包括: 油耗成本、轮胎成本、保修材料成本、配件成本、维修成本、车组人员成本、润滑油成本、车辆折旧成本、管理成本等。除此以外, 道路 LCC 还包括其他非直接的成本, 也称为间接成本, 包括环境破坏和振动等施加于道路周边居民的影响, 有时把交通噪音和污染也归于这类间接成本。其中业主成本比较容易计算和统计; 用户成本目前还没有统一的完整的计算模型, 而且计算均较繁琐, 精度也较差; 而间接成本均难以量化, 目前并没有考虑在内。

## 1.3 PPM 成本及效益组成

PPM 作为道路寿命周期内一个重要的组成部分和环节, 在不同道路寿命的不同时期, 它对业主和道路使用者均构成了成本和产生了效益。

### (1) PPM 成本组成

PPM 成本也主要由业主成本和用户成本 2 部分组成。PPM 业主成本主要是 PPM 措施的施工成本( =

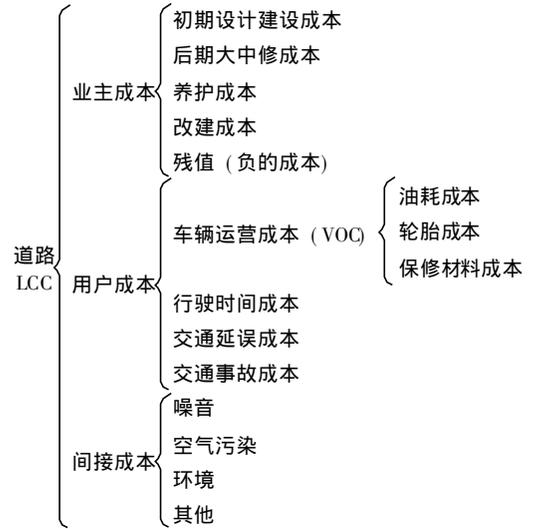


图 1 道路 LCC 组成

Fig 1 The pavement LCC components

PPM 各施工措施的综合单价 × 工程量); PPM 用户成本主要是由于 PPM 施工作业时形成的工作区 (Work Zone) 增加了用户的相关成本。工作区是道路进行养护维修作业的施工操作区域, PPM 是在现有道路上实施的, 因此工作区的存在必定会影响施工时路面上行驶的车辆。在一定交通量的水平下, 工作区的存在会使交通从自由行驶状态变为非自由行驶状态, 造成车辆的运行速度降低, 油耗成本增加, 即车辆运营成本增加。同时, 工作区的存在引起了车辆车速降低, 有时甚至会造成交通阻塞使车辆处于排队等候状态, 这也必然会增加车辆运输的在途时间, 造成交通延误成本。根据国内外的相关统计, 因工作区的存在引起的交通事故呈上升趋势, 无疑 PPM 工作区也会增加用户的交通事故成本。

### (2) PPM 效益组成

实践证明适时适地的采用恰当的 PPM 措施可以提高路面的行驶质量, 推迟昂贵的大修, 延长路面的使用寿命, 使路面较长时间处于优良水平等。PPM 实施后, 对业主产生的效益主要是推迟了昂贵的大修成本的支出、对于收费道路在延长路面使用年限内获得了车辆过路费的直接收益; 对用户产生的效益主要是由于 PPM 改善了路面行驶质量而减小了相关成本。适当的 PPM 措施会改善路面平整度, 使用户的油耗、轮耗、材耗降低, 减小了用户的车辆运营成本。适当的 PPM 措施会改善路面的抗滑性能, 降低用户的交通事故成本。

## 1.4 PPM 与 LCC 的关系

PPM 的效益主要是相对于没有实施 PPM (零 PPM) 来说的, 从 LCC 的角度可以看出: PPM 相对于

零 PPM 是通过在道路寿命的前期增加了施工阶段的成本投入 (业主施工投入成本、用户成本的增加), 获得后期较大的效益 (推迟业主较大成本的支出和用户成本的减少、收费道路业主直接收益的增加)。

根据以上分析, 下面介绍几种 PPM 成本效益的评价方法, 从而得出更好体现 PPM 上述效益的评价方法。

## 2 PPM 成本效益评价方法

PPM 是针对道路这种公共设施的, 应该首先从国家角度对 PPM 方案做国民经济分析。经济分析是从国家的角度评估投资行为的合理性, 所考虑的是项目所增加的全社会财富和所耗费的全社会资源。评价过程中采用的经济参数是影子价格、影子汇率和社会折现率等。

目前高速公路等部分收费道路均以企业/公司(业主)形式经营和管理的, 除了应该对 PPM 方案做国民经济分析外, 还应该从业主角度进行财务分析。财务分析是从企业(或项目)角度评估投资行为的经济合理性, 所依据的是现行的财税制度和实际发生的价格。

无论国民经济分析还是财务分析都应该借鉴 LCCA 的思想, 把道路整个寿命周期作为评价方案的期间, 综合考虑期间发生的所有费用。对 PPM 方案的财务分析、国民经济分析两种技术经济分析方法从分析的角度、成本和效益的组成、使用的参数、优缺点等进行比较, 见表 1。

表 1 PPM 效益评估方法比较

Tab 1 Comparison of the evaluation methodologies of PPM benefits

	财务评价	国民经济评价
分析角度	从企业/公司(业主)角度	从国家整体角度
成本	道路初期建设费用	
	后期大中修费用	道路初期设计建设成本
	养护费用	后期大中修成本
	管理费用	养护成本
	其他间接费用	残值(负的成本)
效益	车辆过路费总收入	用户车辆运营成本的减少 (体现为客货运输成本降低 用户交通延误成本的减少)
	其他间接收入	(体现为客货在途时间节约) 用户交通事故成本的减少 (体现为交通事故减少)
	使用参数	现行价格、财务折现率
		影子价格、社会折现率
优点	财务关系简单, 计算简便容易被业主理解和接受	考虑了寿命周期内所涉及到的所有成本体现了社会整体利益
	缺点	不能体现出各方案对用户的影响

从以上对比可以得出: 道路方案比选应根据分析角度的不同, 采用不同的方法、参数。LCC 的组成与国民经济分析中成本、效益的组成完全一致, 可以用作国民经济分析的主要方法。财务评价把业主作为独立核算的经营单位, 从业主角度评价 PPM 实施的经济合理性。为了让业主更加清晰明了的体现到 PPM 的效益和实施的必要性, 必须从财务上对 PPM 成本效益进行评价。目前国内外都没有这方面的分析和考虑, 据此本文提出 PPM 财务分析法。

## 3 PPM 财务分析法

### 3.1 方法介绍

PPM 方案的效益主要是相对于零 PPM 方案来说的, 由于 PPM 会延长道路寿命, 造成两方案的寿命周期不同, 一般采用年值法较为合理, 故可以采用以下评价指标, 具体公式如式 (1)。

$$NAVD = NAV_x - NAV_y = \left[ \sum_{i=0}^n (B_x - C_x) (1+i)^{-i} \right] \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}} - \left[ \sum_{i=0}^m (B_y - C_y) (1+i)^{-i} \right] \frac{i}{1 - (1+i)^{-m}}$$

式中,  $NAVD$  为净年值差 (PPM 方案相对于零 PPM 方案的效益贡献年值);  $NAV_x$  为预防性养护方案的净年值;  $NAV_y$  为零预防性养护方案的净年值;  $B_x$  为预防性养护方案的第  $t$  年的现金收入;  $B_y$  为零预防性养护方案的第  $t$  年的现金收入;  $C_x$  为预防性养护方案的第  $t$  年的现金支出;  $C_y$  为零预防性养护方案的第  $t$  年的现金支出;  $n$  为预防性养护方案的寿命期;  $m$  为零预防性养护方案的寿命期;  $i$  为基准折现率 (最低可接受的资金收益率)。

净年值差用来作为 PPM 对道路整个寿命周期内成本效益的贡献值, 如果  $NAVD > 0$ , 则 PPM 方案的净年值大于零 PPM 方案的净年值, 说明由于 PPM 的实施给道路带来了效益, PPM 对道路 LCC 有贡献, PPM 的实施是经济合理的, 对于业主有实施 PPM 的财务必要性; 如果  $NAVD \leq 0$ , 则说明零 PPM 方案是经济合理的, 没有实施 PPM 的财务必要性。

### 3.2 分析程序

(1) 收集基本资料 (主要包括交通量及交通组成资料、路面结构、类型等);

(2) 建立路面维修养护方案 (PPM 方案与零 PPM 方案);

(3) 确定各方案的寿命;

- (4) 确定各方案的现金流量图、表;
- (5) 计算  $NAVD$  指标;
- (6) 进行敏感性分析。

### 3.3 特点

PPM 财务分析法从道路 LCC 的角度, 综合考虑 PPM 对国民经济影响和财务影响而提出。传统的 LCCA 并没有涉及到业主的过路费收入, 其中用户成本的计算相关因素很多, 计算繁琐且业主对用户成本的计算存在很大争议。PPM 财务分析法不需要考虑用户成本, 而从业主的角度对 PPM 的效益做出了真实评价, 明确了 PPM 实施的必要性。且 PPM 财务分析法财务关系简单, 计算简便, 成本和效益的预测真实可信, 容易理解和接受。

## 4 案例分析

已知某高速公路右幅其中一段 3 km, 初期设计建设成本为 6 086.43 万元, 于 2001 年 10 月底正式通车。具体资料如下。

### 4.1 交通量

表 2、表 3 分别给出了该段高速公路交通量的基本情况以及通过车辆的车型分布比例。

表 2 交通量基本情况

Tab 2 Traffic volume data

年份	实际交通量/(辆·d <sup>-1</sup> )	交通量增长率/%
2001	1 137	
2002	2 161	
2003	2 660	
2004	6 591	
2005		10.93
2006-2010		9.45
2011-2020		6.60

表 3 各车型在该段的分布比例 (单位: %)

Tab 3 Distribution of vehicle types in this section (unit: %)

年份	1 类车	2 类车	3 类车	4 类车	5 类车
2001	18.95	5.15	20.89	3.96	1.06
2002	20.03	6.27	17.16	5.16	1.39
2003	21.78	5.25	17.22	4.08	1.67
2004	28.64	4.70	13.27	1.90	1.49
2005-2020	28.64	4.70	13.27	1.90	1.49

### 4.2 路面养护维修方案

根据实际情况, 该段高速公路建立了 2 种路面养护维修方案。

#### 方案 1: 零 PPM 方案

对该高速公路平常不采取任何 PPM 措施, 在 2009 年初路面损坏严重时进行大修, 把 3 层面层全部进行铣刨重铺, 大修费用为 589.779 万元, 预计大修后路面使用年限为 10 a。

#### 方案 2: PPM 方案

对该高速公路制定一系列的 PPM 实施措施, 在 2004 年初对路面实施 PPM 措施 A, 费用为 30 万元; 2006 年初再次对路面实施 PPM 措施 B, 费用为 30 万元; 2008 年初对路面实施 PPM 措施 C, 费用为 56.4 万元。

预计这套 PPM 方案相对于零 PPM 方案至少可以推迟大修 2 a, 即在 2011 年初路面损坏严重时进行大修, 大修费用为 589.779 万元, 预计大修后路面使用年限为 10 a。

### 4.3 确定各方案的寿命

方案 1: 这段高速公路 2001 年正式通车, 2009 年初大修, 预计大修后路面使用年限为 10 a, 到 2018 年末路面寿命终止, 所以方案 1 的路面预期寿命为 18 a, 期末路面残值为 0。

方案 2: 这段高速公路 2001 年正式通车, 2011 年初大修, 预计大修后路面使用年限为 10 a, 到 2020 年末路面寿命终止, 所以方案 2 的路面预期寿命为 20 a, 期末路面残值为 0。

### 4.4 确定各方案的现金流量图、表

#### (1) 过路费收入

首先确定道路收费标准, 该段高速公路车辆过路费的收费标准见表 4。

表 4 车辆过路费收费标准 [单位: 元·(车·km)<sup>-1</sup>]

Tab 4 Toll list for vehicle types [unit: Yuan·(vehicle km)<sup>-1</sup>]

1 类车	2 类车	3 类车	4 类车	5 类车
0.6	0.9	1.2	1.8	2.4

年过路费收入=当年各车型应缴费的交通量×里程×各车型收费标准。根据表 2、表 3 该段高速公路交通量的基本情况以及通过车辆的车型分布比例和表 4 车辆过路费收费标准, 计算 2 种方案各年的过路费收入, 这部分相同。

#### (2) 管理费用

2001 年管理费用为 6.78 万元, 2002 年管理费用为 40 万元, 以后每年按 5% 递增, 方案 1、方案 2 均同。

#### (3) 养护费用

2001 年日常养护费用为 1.59 万元, 2002 年日常养护费用为 9.913 万元, 以后每年等额增加 0.439 万元, 方案 1、方案 2 均同。

方案 2 的 PPM 费用 2004 年为 30 万元; 2006 年为 30 万元; 2008 年为 56.4 万元, 方案 1 没有该项支出。

#### (4) 大修费用

方案 1 的大修费用 2009 年为 589.779 万元, 方案

2 的大修费用 2011 年为 589.779 万元, 其他各年 2 个方案均没有该项支出。

(5) 税金

营业税率为 5%, 教育附加税率为 3%, 城市建设税率为 7%, 所得税率为 33%, 方案 1、方案 2 均同。

方案各年的收益= 当年车辆过路费总收入 × (1 - 营业税税率及教育附加、城市建设) - 运营管理费用 - 养护费 - 大修费用 - 所得税, 计算得到各方案的净现金流量表如表 5 所示。

表 5 各方案的净现金流量表 (单位: 万元)

Tab 5 Net cash flow of the alternative schemes (unit: 10 thousand Yuan)

Table with 6 columns: Year, Scheme 1, Scheme 2, Year, Scheme 1, Scheme 2. Rows 0-10 showing cash flow values.

注: 方案 1 与方案 2 的各年净现金流只有因 PPM 的实施和大修时间的不同引起了第 4、6、8、9 和 11 年的收益不同。

4.5 计算 NAVD 指标

根据《建设项目经济评价方法与参数》<sup>[7]</sup>, 折现率采用 10%。按照公式 (1) 计算得到 NAVD = 39.11 > 0, 方案 2 是经济合理的。39.11 万元/年为 PPM 方案相对于零 PPM 方案对业主财务效益的贡献值, 从业主的角度看有实施 PPM 的财务必要性。

4.6 敏感性分析

其中折现率、交通量、大修费用、推迟大修年数等均为不确定性因素, 净年值差 (NAVD) 作为评价的经济指标。考虑各项不确定因素发生一定的变化对其指标造成的影响, 计算得到的敏感性分析如表 6。

表 6 不确定因素对净年值差的影响表

Tab 6 Influence of indefinite factors on NAVD

Table with 8 columns: Change factor, Change range %, and NAVD values for different change rates (-60% to +60%).

从表 6 可以看出: 各变化因素在发生一定变化时, NAVD 均大于零, 方案 2 是经济有效的。根据上表绘制各不确定因素对净年值差的影响图, 见图 2。

从图 2 可以看出: 随着折现率的增大, PPM 方案对整个寿命周期内业主财务的贡献值越来越小, 但在

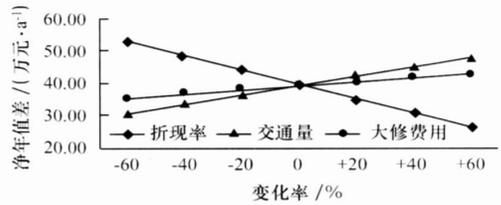


图 2 不确定因素对净年值差的影响图

Fig 2 Influence graph of indefinite factor to NAVD

折现率可能变化的范围内, PPM 方案始终是经济合理的。随着交通量的增大, PPM 方案对整个寿命周期内业主财务的贡献值越来越大, 因为交通量增大, 预防性养护方案在延长路面寿命的 2 a 内得到的收益就越大, 符合趋势变化。随着大修费用的增大, 预防性养护方案对整个寿命周期内业主财务的贡献值也越来越大, 因为大修费用越大, 就推迟了更多费用的支出, 在大修费用可能的变化范围内, PPM 方案均是经济有效的。

算例中假设此套 PPM 方案能推迟大修 2 a, 如果推迟大修 1 a, 计算净年值差, NAVD = 19.34 > 0, PPM 方案仍是经济合理的, 19.34 万元/a 为 PPM 对业主财务效益的贡献。随着这套 PPM 方案推迟大修的年数增加, PPM 对业主财务效益的贡献会随着道路寿命的延长而增加。

从以上的计算分析可以得出: 算例中采取的预防性养护策略只要推迟大修 1 a, 延长路面寿命 1 a, 即可以增加业主的财务效益。从业主角度来看, 有实施 PPM 的财务必要性。

5 结论

(1) 考虑了 PPM 方案与零 PPM 方案在使用性能等诸多方面的差异, 通过案例分析可以较准确地评价 PPM 的经济效益。

(2) 评价指标采用了年值法, 避免了 PPM 方案与零 PPM 方案的寿命周期年限不等的影 响, 增加了可比性和准确性。

(3) 从道路 LCC 的角度出发, 将国民经济分析、财务分析与 PPM 相融合, 体现了 LCCA 的思想内涵, 更加有利于评价 PPM 在整个寿命周期内的经济贡献。

参考文献:

References:

[1] 苏卫国, 张肖宁, 王端宜. 道路预防性养护的概念、应用及发展 [J]. 广东公路交通, 2005 (sup1): 1- 8

- [7] 王朝辉, 王选仓. 灰色关联度组合赋权在道路养护优化中的应用 [J]. 河北工业大学学报, 2006, 35 (6): 106-110.  
WANG Chaohui, WANG Xuancang. Application of Combination Weights of Grey Relation in Optimizing Decision-making of Highway Maintenance [J]. Journal of Hebei University of Technology, 2006, 35 (6): 106-110.
- [8] 王朝辉, 王选仓, 马士宾, 等. 具有不确定属性的道路养护决策优化 [J]. 河北工业大学学报, 2006, 35 (3): 108-111.  
WANG Chaohui, WANG Xuancang, MA Shibin, et al. Optimizing Maintenance Decision-making of Highway with Undetermined Attribute [J]. Journal of Hebei University of Technology, 2006, 35 (3): 108-111.
- [9] 谢君平, 陆键, 项乔君, 等. 高等级公路沿线设施养护质量评价方法研究 [J]. 公路交通科技, 2008, 25 (8): 42-46.  
XIE Junping, LU Jian, XIANG Qiaojun, et al. Research on Method of Traffic-facility Maintenance Quality Evaluation for High-level Roads [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2008, 25 (8): 42-46.
- [10] 张盈盈. 利用 AHP 引入服务水平的综合交通阻抗函数模型 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (3): 115-117.  
ZHANG Yingying. Study on Integrated Traffic Impedance Function by Use of AHP Method [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (3): 115-117.
- [11] 杨敏, 王伟, 陈学武, 等. 基于 DEA/AHP 方法的大运量快速交通方式选择决策 [J]. 公路交通科技, 2006, 23 (7): 111-115.  
YANG Min, WANG Wei, CHEN Xuewu, et al. Decision-making Method for Mass Rapid Transit Mode Selection Based on DEA/AHP [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23 (7): 111-115.

## (上接第 20 页)

- SU Weiguo, ZHANG Xiaoning, WANG Duanyi. Concept, Application and Development of Pavement Preventive Maintenance [J]. Guangdong Highway Communications, 2005 (sup1): 1-8.
- [2] 刘黎萍, 华小梅. 沥青路面寿命周期费用组成的定量分析 [J]. 中南公路工程, 2005, 30 (4): 192-195.  
LIU Liping, HUA Xiaomei. Quantitative Analysis of Life-cycle Costs Composition for Asphalt Pavement [J]. Central South Highway Engineering, 2005, 30 (4): 192-195.
- [3] 杨娥, 苏卫国. 道路建设方案比选中的寿命周期成本分析 [J]. 中外公路, 2005, 25 (4): 205-207.  
YANG E, SU Weiguo. Life-cycle Cost Analysis for Alternatives of Road Project [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2005, 25 (4): 205-207.
- [4] 姚祖康. 路面管理系统 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1993.  
YAO Zukang. Pavement Management System [M]. Beijing: China Communications Press, 1993.
- [5] FHWA. Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design [R]. 1998.
- [6] FHWA. Life Cycle Cost Analysis Primer [R]. 1998.
- [7] 于守法. 建设项目经济评价方法与参数应用讲座 [M]. 北京: 中国计划出版社, 1995.  
YU Shoufa. Applications of Economic Evaluation Methods and Indicates for Construction Projects [M]. Beijing: China Planning Press, 1995.
- [8] 董瑞琨, 孙立军. 路面维护及预防性养护效益分析 [J]. 公路, 2004 (3): 121-125.  
DONG Ruikun, SUN Lijun. Analysis of Benefit of Pavement Preservation and Pavement Preventive Maintenance [J]. Highway, 2004 (3): 121-125.
- [9] 廖公云, 黄晓明. 3 种路面方案选择方法的对比应用 [J]. 公路交通科技, 2007, 24 (1): 34-38.  
LIAO Gongyun, HUANG Xiaoming. Comparative Application of Three Methods for Selecting Pavement Alternatives [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24 (1): 34-38.
- [10] 吴宇航, 程珊珊, 潘玉利. 道路时间费用预测模型研究 [J]. 公路交通科技, 2001, 18 (2): 90-93.  
WU Yuhang, CHENG Shanshan, PAN Yuli. Study on Prediction Model of Travel Time Costs [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2001, 18 (2): 90-93.